

TARTU ÜLIKOOL

Sotsiaalteaduste valdkond

Psühholoogia instituut

Liina Kokk

RUUMILISE FAASI ERISTAMINE NÄGEMISTAJUS

Uurimistöö

Juhendaja: Endel Põder, PhD

Läbiv pealkiri: Ruumilise faasi eristamine

Tartu 2018

Kokkuvõte

Inimsilm suudab kergesti eristada teatud ruumilisi faase, kuid nende faaside tajumine on erinev fovea ja perifeeria aladel ning oleneb konkreetsetest stiimulitest. Selle uurimistöö eesmärk on selgitada välja ruumilise faasi eristamise mehhanisme nägemistajus. Mõistmaks heleduse jaotuse mõju faasitajule, kasutati võrdsustatud heleduste histogrammiga mustreid. Tähelepanu mõju uurimiseks kasutati erinevaid otsingukriteeriume (erineva vs konkreetse objekti otsimine) ning varieeriti esitatud objektide arvu. Stiimulina kasutati liht- ja liit-Gabori mustreid ning histogrammiga võrdsustatud liht- ja liit-Gaborite mustreid. Töö käigus viidi läbi 3 eksperimenti. Katseisikuid oli 5 ning töö analüüsis uuriti kõigi katseisikute keskmiseid tulemusi. Selgus, et heleduse histogrammi võrdsustamine halvendab objektide eristamist. Samuti leiti, et objektide arv ei mõjuta erineva objekti otsimist, kuid mõjutab konkreetse objekti otsimist.

Märksõnad: ruumiline faas, histogrammiga võrdsustamine, tähelepanu, visuaalne otsing, Gaborid.

Spatial phase discrimination in visual perception

Abstract

We can easily discriminate certain spatial phases. But the sensitivity and perception of these phases varies in fovea and periphery area and depends on stimulus patterns. The aim of this research is to find out the mechanisms behind discrimination of spatial phase. Histogram matching of patterns with different phases are used in order to reveal the role of luminance cues. Possible effects of attention were studied using visual search experiments with varied stimulus set size. Simple and compound Gabor patches were used as stimuli. 3 experiments were carried out during the research, the purpose was to investigate the potential impact of the different search criteria (oddity vs. fixed object search). There was 5 observers in the experiment and in the analyze there was used mean data of 5 observers. It turned out that

equating the brightness with histogram reduces the difference between objects. It was also found that the number of the objects does not affect the search for odd (different) object, but affects the search for special target object.

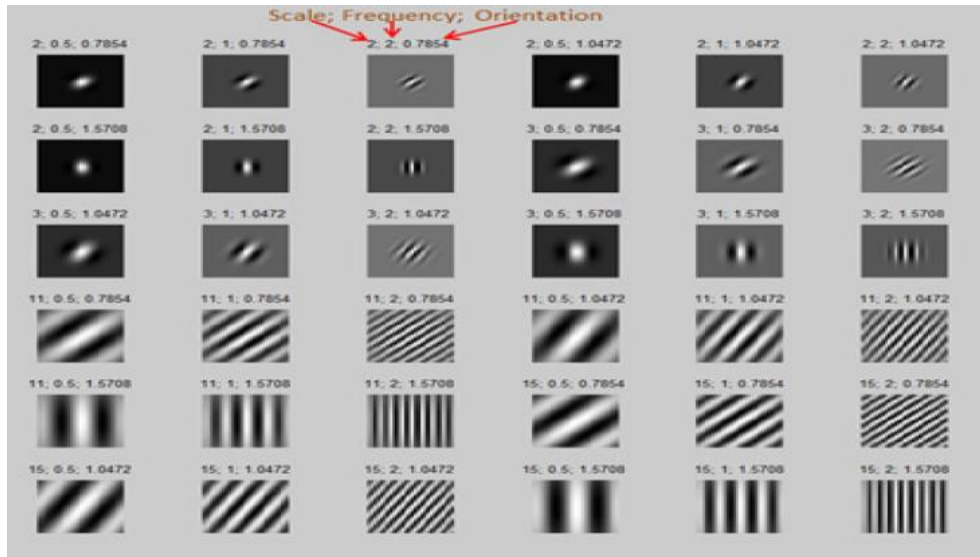
Keywords: spatial phase; histogram matching; attention; visual search, Gabors.

Sissejuhatus

Nägemine on inimese viiest meelest üks tähtsamaid, kuna selle kaudu saab inimene informatsiooni väliskeskkonna kohta kõige rohkem. Valguse mõjul tekivad silma võrkkesta rakkudes keemilised muutused, mille tõttu tekivad närviimpulsid. Mööda nägemisnärvi kandub erutus peaaegu nägemispiirkonda ja tekib nägemisaisting.

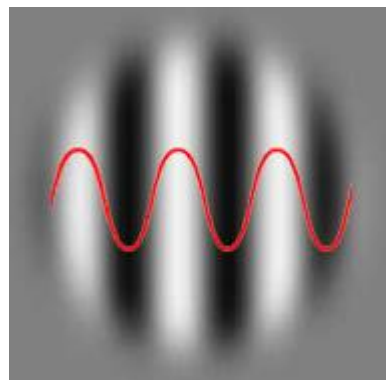
Gaborid

Gabori lainekeste omadused vastavad primaarse visuaalse ajukoore nägemisvälja omadustele, mistõttu kasutatakse neid palju pilditöötlustel ja nägemise uurimisel. Gabori mustrid koosnevad sinusoidaalsetest lainekestest, mis on moduleeritud Gaussi funktsiooniga (Wolfie *et al.*, 2015). Gabori lainekestel saab muuta skaalat, sagedust ja kontrasti. Mida kõrgema sageduse ja kontrastiga on lainekesed esitatud, seda tihedamini ja selgemini joonekesed vahelduvad. Mida madalam on sagedus, seda laiemad jooned on Gaboritel. Jooniselt 1 (Ali & Whitehead, 2015) on välja toodud Gabori lainekesed, milles on muudetud skaalat, sagedust ja orientatsiooni.



Joonis 1. Kolme kontrollparameetri abil loodud Gabori lainekesed. Kontrollparameetriteks olid skaala suurus ja ulatus, sagedus ja orientatsioon (Ali & Whitehead, 2015).

Sinusoidaalsete lainekeste puhul vaheldub valguse intensiivsus heledamate ja tumedamate väärtuste vahel siinusfunktsiooni põhjal (Wolfie *et al.*, 2015). Mida suurem on lainekeste valguse intensiivsuse amplituud, seda suurema kontrastiga pilt tekib. Joonisel 2 on toodud siinusfunktsioon, moduleeritud Gaussi funktsiooniga. Nagu jooniselt 2 näha, mida kõrgem on lainekese amplituud, seda intensiivsem hele toon saadakse. Kontrastsus varieerub valge ja musta vahel. Kui vaadelda sinusoidaalset lainet üksinda, tekib võre ja tausta ühildumisel teravad servad. Need teravad servad võivad segada neuroneid, seepärast tuleb teravad servad eemaldada. Servade eemaldamiseks tuleb sinusoidaalne võre (*sine wave grating*) korrutada läbi moduleeritud Gaussi funktsiooniga.



Joonis 2. Siinusfunktsioon moduleeritud Gaussi funktsiooniga (Wolfie *et al.*, 2015).

Fourier' teooria

Fourier' lähenemist kasutatakse piltide ja kujutiste analüüsimisel ning nägemistaju uurimisel. Psühhofüüsikalised uuringud on näidanud, et inimese nägemissüsteem teeb pilte vaadates sagedusanalüüsi (Jian, Lei, & Guo, 2009). Field ja Nachmias (1984) kinnitasid, et ruumilise nägemise informatsiooni töötlemine sarnaneb Fourier' analüüsiga. Fourier' analüüsis tõlgitakse ruumipiirkonnast (*space domain*) saadud informatsiooni sageduspiirkonna parameetritega (ruumsagedus, amplituud ja faas). Fourier' teooria kohaselt saab kõiki pilte esitada sinusoidaalsete lainekete summana, millel on erinevad amplituudid (kontrast), sagedused, orientatsioonid ja faasid (Hansen & Hess, 2006; Campbell & Robson, 1968; Wolfie *et al.*, 2015). Erinevalt Fourier' teisendusest, kasutab nägemissüsteem lokaalset analüüsi ning kirjeldab pilte Gabori funktsioonidena (laineketena).

Ruumiline sagedus

Ruumilist sagedust mõõdetakse tsüklite kraadi kohta, ehk mitu korda sinusoidaalne laine kordub 1-kraadise nägemisnurga all. Üks tsükel kestab valgest triibust järgmise valge triibuni. Visuaalne nurk määratakse kindlaks objekti suuruse ja kauguse järgi (Wolfie *et al.*, 2015). Inimene näeb sagedusi 0 kuni 30 tsüklit/kraadi. Gabori mustri faas viitab sinusoidaalse laine suhtelisele asendile vasakust paremale. Sinusoidaalse lainekese faasid muutuvad alates 0 kraadist kuni 360 kraadini (Wolfie *et al.*, 2015).

Faasid ja detektorid

Field ja Nachmias (1984) leidsid, et põhi ja teise harmoonilise vahelist faasi eristavad neli kanalit. Kanaliteks nimetatakse ühte klassi kuuluvaid detektoreid. Nendeks kanaliteks on $\pm\sin$ ja $\pm\cos$. Lisaks leidsid nad, et koosinus kanalid on tundlikumad kui siinuse kanalid.

Nägemissüsteem sisaldab erinevaid detektoreid, mis on tundlikud erinevatele ruumsagedustele (Field & Nachmias, 1984). Field ja Nachmias (1984) jagasid detektorid erinevatesse klassidesse: kriipsu-detektorid ja serva-detektorid. Kriipsu detektorid (*bar-selective detectors*) on heleduse avastajad, mis reageerivad heledale joonele tumedal taustal. Heledal ja tumedal kriipsul on sama Fourier' amplituudi spektrid, kuid erinevad faasi spektrid. Kõik heleda kriipsu komponendid asuvad $+\cos$ faasis ning kriipsu keskmises osas. Kõik tumeda kriipsu komponendid asuvad $-\cos$ faasis ja samuti kriipsu keskmises osas. Kuna

heleda ja tumeda kriipsu detektorid suudavad vahet teha $-\cos$ ja $+\cos$ faasil, siis peetakse neid faasitundlikuteks (hele riba on $+\cos$ tundlik ning tume riba $-\cos$ tundlik) (Huang, Hess, & Kingdom, 2005).

Sarnaselt heleduse-tumeduse kriipsude eristajatele, on ka serva detektorid (*edge-selective detectors*). Parema serva kõik komponendid asuvad $+\sin$ faasis ning vasaku serva komponendid asuvad $-\sin$ faasis. Kuna vasaku ja parema serva detektorid on erinevalt tundlikud, siis neid peetakse faasitundlikuteks (parema serva detektorid on $+\sin$ faasi tundlikud ja vasaku serva detektorid on $-\sin$ faasi tundlikud) (Field & Nachmias, 1984).

Seega leidsid Field ja Nachmias (1984), et $+\cos$ faas on tundlik heledale kriipsule ning $-\cos$ faas on tundlik tumedale kriipsule. Samuti leiti, et parema serva komponendid asuvad $+\sin$ faasis ning vasaku serva komponendid $-\sin$ faasis.

1989. aasal uurisid Burr, Morrone ja Spinelli perioodiliste stiimulite paare. Stiimulid koosnesid 256 harmoonilisest sinusoidist, millel muudeti sujuvalt originaal-mustri amplituudi ja faasi ühildumist. Tulemused kinnitasid, et eksisteerib 2 klassi detektoreid ning 4 kanalit – kriipsu ja serva detektorid. Samuti leiti, et tulemused olid sarnased nii fovea kui ka perifeeria alal. See-eest uuemad uuringud (Huang *et al.*, 2005; Hansen & Hess, 2006) suutsid inimese nägemisel eristada ainult 2 faasi: $+\cos$ ja $-\cos$.

Perifeeria ala

Oskus avastada, identifitseerida ja vahet teha ruumilisel stiimulil on perifeeria piirkonnas tunduvalt raskem kui nägemisvälja keskosas (Bennett & Banks, 1987). Et puudujääki vähendada, võib stiimuli suurust varieerida. Bennett ja Banks (1987) leidsid, et perifeeria piirkonnas on faaside eristamine tunduvalt raskem, kuna selles piirkonnas ei suudeta ruumilist faasi eristada. Nad leidsid, et ka perifeerses nägemisväljas toimivad kaks mehhanismi, kuid nende tundlikkus on erinev. Leiti, et 90° ja 270° kraadise faasi eristamine on kaugel perifeeria alal praktiliselt võimatu, mis viitab sellele, et siinuse kanalid puuduvad või on väga madala tundlikkusega selles piirkonnas.

Liitlained

Liitlainekeste (*complex waveform*) tuvastamine näib olevat oma komponentide suhtelisest faasist sõltumatu (Field & Nachmias, 1984). Nachmias ja Weber (1975) uurisid faasitundlikkust põhi ja kolmanda harmoonilise liitlainekestega. Nad leidsid, et eksisteerib piirkond, kust on võimalik tuvastada mõlemat liitlainekeste komponenti, kuid nende faasi mitte. Burr (1980) leidis, et faasialdusvõime lävi väljendatud kahe komponendi omavahelisest faasinihkest ning on konstantne üle ruumisageduste. 0 ja 180 kraadine faasinurk vastab koosinus faasile, ehk heleda ja tumeda kriipsu eristamisele ning 90 ja 270 kraadine nurk vastab siinus faasile, ehk vasaku ja parema serva eristamisele (Field & Nachmias, 1984). 0 kraadine nurk $+\cos$ faasile (hele kriips) ja 180 kraadine nurk $-\cos$ faasile (tume kriips), samal ajal 90 kraadine nurk vastab $-\sin$ faasile (vasak äär) ja 180 kraadine nurk $+\sin$ faasile (parem äär).

Histogrammiga võrdsustamine

Samasid stiimuleid saab kirjeldada ka erinevate heleduse üleminekutega. Seepärast kasutas Põder (2016) histogrammiga võrdsustamist, et kontrollida mustrite heledust. Histogrammiga võrdsustamine on piltide digitaliseerimise traditsiooniline meetod, mida kasutatakse piltide kvaliteedi parandamiseks (Gonzalez & Woods, 2008). Gaborite modifitseerimine võrdsustatud histogrammiga reguleerib pikslite heleduse jaotuseid, kuid säilitab pikslite järjekorra ja heleduse skaala. Tänu sellele jäävad mustri heledad ja tumedad triibud samadesse kohtadesse, kuid triipude kontrastsus võib muutuda märgatavalt. Põder (2016) üritas selgitada ruumilise faasi eristamise mehhanisme heleduste erinevustega. Ta võrdsustas erineva faasiga lainete (Gaborite) heleduste jaotused (histogrammid) ning kasutas Gabori mustrite kui ka kriipsude ja servade stiimuleid eraldi tekstuurilise komponentidena. Selle tulemusel vastavatest Gaboritest koosnevate tekstuuride eristatavus vähenes tugevalt.

Sarnase vs erineva objekti otsing

Erineva objekti otsimine on otsing, mille sihtmärk ei ole teada, kuid on teada, et ta on teistest objektidest erinev (Schoonveld, Shimozaaki, & Eckstein, 2007). Samuti leidsid eelnevalt mainitud autorid, et kui ülesande eesmärk on eristada objekti distraktoritest, siis inimese võime objekti eristada jääb samaks või isegi paraneb stiimulite arvu suurenedes. Konkreetse objekti otsimisel peab katseisik kaaluma kõikide alternatiivide olemasolu ning

veenduma, milline objektidest on sihtmärk. Vaadeldavate objektide arvu suurenemisega suureneb ka tõenäosus, et üks distraktoritest näeb otsitava objekti moodi välja, mis omakorda suurendab ka juhusliku vastuse andmise tõenäosust (Schoonveld *et al.*, 2007). Seetõttu distraktorite arv vähendab konkreetse objekti leidmist.

Käesolev töö

Varasemat on uuritud faasi eristamist erinevate stiimulite kaudu, kuid vähe on uuritud tähelepanu mõju. Käesoleva töö eesmärgiks on vaadata, kas Endel Pöder (2016) tekstuuridega uuringu tulemused kehtivad ka üksikute Gaborite puhul. Pöder (2016) uuringu eesmärgiks oli selgitada ruumilise faasi eristamise mehhanisme. Täpsemalt uuriti kohalike heledusjoonte rolli ja tähelepanu. Käesoleva töö käigus uuritakse samuti heledusjaotuste rolli, kasutades originaal Gaboreid, liit-Gaboreid ja võrdsustatud histogrammiga töödeldud Gaboreid. Tähelepanu mõju uurimiseks muudetakse objektide arvu otsingu ülesannetes. Analüüsitakse ka otsingu ülesande mõju – kas ja kuidas omavahel erinevad konkreetse objekti otsing ning erineva objekti otsing. Üliõpilase panus uuringus on katseteprogrammis võimalike kohanduste tegemine, katsete läbiviimine ning andmete analüüs ja järeldused. Käesoleva töö katsed on osa Endel Põdra faasitaju teemalisest uurimistööst.

Autor püstitas kaks hüpoteesi:

H1: Heleduse histogrammi võrdsustamine halvendab objektide eristamist.

H2: Objektide arv ei mõjuta teistest objektidest erineva objekti otsimist, kuid võib mõjutada konkreetse objekti otsimist.

Meetod ja mõõtmisvahendid

Valim

Käesolev teema ei eelda väga suurt valimit. Field ja Nachmias (1984) eksperimendis oli kaks katseisikut. Hess & Hanseni (2006) ning Burr, Morrone & Spinelli (1989) uuringus osales 3 katseisikut. Huang *et al.* (2005) uuringus osales 4 katseisikut. Lähtuvalt eelnevatest uuringutest on käesoleva töö valimiks 5 katseisikut, vanuses 21-26 (keskmine vanus 23).

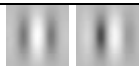
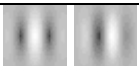

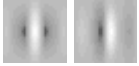
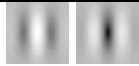
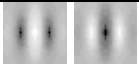

Katsematerjalid, aparatuur

Katse viidi läbi psühholoogia instituudi laboris. Stiimuleid näidati CRT ekraanilt, mille resolutsioon oli 1024×768 . Monitori heledusfunktsiooni mõõdeti Hagnner EC1 fotomeetriga. Tausta heledus oli $\sim 50 \text{ cd/m}^2$ ja stiimulitel oli Weberi kontrastsus 1.0.

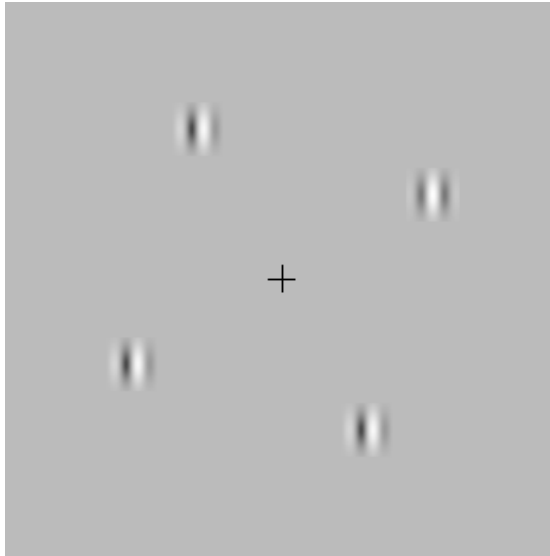
Gabori mustrite esitlused olid vertikaalselt orienteerunud ning põhiline lainepikkus oli 15 pikslit, mis on $\sim 0,5$ kraadi. Gaussi funktsiooni standardhälve on 7,5 pikslit. Gaborid olid kas siinuse või koosinuse faasis. Liit-Gaborid (*compound Gabors*) koosnesid põhi ja teise harmoonilisest faasist, mõlemad oli samas – siinus või koosinus – faasis. Teise harmoonilise faasi amplituud oli $\frac{1}{3}$ põhilisest amplituudist.

Histogrammiga võrdsustatud mustrid valmistati kasutades Matlab funktsioone. Alguses arvutati mõlema (nii siinus kui ka koosinus) mustri heleduse histogrammid. Seejärel need liideti ja saadi keskmine lõplik histogramm. Lõpuks kohandati algsete mustrite piksliväärtused nii, et need sobiksid keskmise histogrammiga (Pöder 2016). Kõik käesolevas uurimistöös kasutatud mustrid on toodud välja tabelis 1.

Tabel 1. Stiimulina kasutatud kujutised (Pöder, 2016).

	Originaalid	Võrdsustatud histogrammiga
Eksperimendid 1 ja 2		
Gaborid, sin vs cos		
Kombineeritud Gaborid, sin vs cos		
Eksperiment 3		
Gaborid, +cos vs -cos		
Gaborid, +sin vs -sin		

Katsetes esitati 1 kuni 5 stiimulit, mis olid paigutatud fikseerimispunkti ümber. Kaugus fikseerimispunktist oli 80 pikslit ehk 3 kraadi. Stiimulid olid jaotatud ühtlaselt fikseerimispunkti ümber. Stiimuli näidis on toodud joonisel 3.



Joonis 3. Näide katsetes esitatud stiimulist (Pöder, 2016)

Joonisel 3 on esitatud 4 stiimulit, millest üks stiimul on teistest erinev. Selliselt ilmusid stiimulid katseisiku ekraanile 180 ms, seejärel pidi katseisik andma vastuse. Vastus oli lähtuvalt ülesandest, kas esitatud stiimulite hulgas oli teistest erinev objekt/konkreetne otsitav objekt.

Protseduur

Katseisikul paluti tulla psühholoogia intsituudi ning katseisik pidi nõustuma „informeeritud nõusoleku“ vormiga, kus selgitati, (1) et tegemist on nägemistaju katsega, (2) tulemused on anonüümsed, (3) katseisik võib katse osalemise igal ajahetkel lõpetada, (4) katse tegemine võtab keskmiselt aega 2,5 – 3 tundi, (5) katse viiakse läbi uurimistöö raames.

Järgmisena paluti katseisikul istuda arvuti taha. Arvuti kõrgus korrigeeriti isiku silmade kõrgusega. Katse viidi läbi pimedas ruumis ning segavate faktoriteta, et katseisik saaks keskenduda katse sooritamisele. Enne katse sooritamist paluti katseisikul vajadusel oma nägemist korrigeerida prillide või läätsede kasutamisega. Enne igat katseolukorda anti katseisikule juhendid, mida ta tegema peab ning mida tuleks jälgida. Enne igat katset oli katseisikul aega ka harjutada 50 korda, et saada eksperimendi läbiviija juhenditest aru.

Eksperimentides kasutati kahte tüüpi visuaalseid otsingukatseid. Esimeses eksperimendis tuli vaadelda, kas esitatud kujundid on samad või erinevad. Katseisikule näidati ekraanil lühikeseks ajaks (180 ms) 2 kuni 5 stiimulit. Esitatud kujundid võisid olla kõik ühes faasis ning võis olla ka üks stiimul, mis oli teisest faasist. Erineva stiimuli

esinemistõenäosus oli katses 0,5. Katseisiku ülesanne oli kindlaks teha kas katses oli erinevast faasist stiimul või olid kõik samasugused stiimulid. Kuvatud mustrite paarid ja arv oli fikseeritud erinevates katse plokkides. Esimeses katse plokis näidati kahte objekti; teises katse plokis näidati kolme objekti ning kolmandas katses viite objekti. Kõikidel siinus ja koosinus faasis esitatud mustritega mudelitel oli võrdne tõenäosus olla katseplokkides otsitava objektina või distraktorina.

Kokku tehti 3 eksperiment. Igas eksperimentis erinesid katsetingimused (esitatud objektide arv ja stiimulite tüüp). Esimeses eksperimentis oli objektide arv vastavalt 2, 3 ja 5 ning uuritavaks stiimuliks olid liht-Gaborid, võrdsustatud histogrammiga liht-Gaborid, liit-Gaborid ning võrdsustatud histogrammiga liit-Gaborid. Stiimulid ilmusid ekraanile 180 ms ning seejärel pidi katseisik otsuse langetama lähtuvalt ülesandest. Iga stiimuli ja objektide arvu kohta viidi läbi 100 üksikkatset.

Eksperiment 1

Esimese eksperimenti käigus uuriti, kuidas teistest erineva objekti otsimine toimub. Katses esitati lühidalt (180 ms) kaks kuni viis stiimulit fikseerimispunkti ümber. Katseisiku ülesandeks oli otsida teistest erinevat stiimulit, mille esinemistõenäosus oli 0,5. Stiimulid koosnesid kas lihtsatest Gabori lainetest (siinus või koosinus faasist) või liit-Gaboritest (esimene ja teine harmoonik ning kriipsu ja serva faasid). Iga tingimusega toimus 50 üksikkatset, kokku 600 katset. Eksperimenti esimeses katses tuli katseisikul vaadata kahte originaal liht-Gaborit. Stiimul ilmus ekraanile 180 ms ja katse kestis 50 korda. Seejärel pidi isik vaatama juba võrdsustatud histogrammiga modifitseeritud liht-Gaboreid, katse kestis 50 korda ning uuritavaid objekte oli endiselt 2. Samamoodi läks katse edasi ka originaal ja võrdsustatud histogrammiga liit-Gaboriga. Kui kahe objektiga katsed olid tehtud, suurendati objektide arvu ning katse algas uuesti pihta, esialgu originaalse ja võrdsustatud histogrammiga liht-Gaboritega, seejärel liit-Gaboritega. Kui kõik 600 katset oli tehtud, muudeti objektide ja tingimuste esitusjärjekorda ning katseisik tegi sama katse ka tagurpidi. Katse kordamisega sooviti vähendada juhuslikkust ning õppimise või väsimise mõju.

Eksperiment 2

Teises eksperimentis tuli katseisikul otsida kindlat objekti, mis näidati enne katseplokkide algust monitoril. Otsitava stiimuli esinemistõenäosus katsetes oli 0,5, seega ei

pruukinud alati kindlat objekti ekraanil kuvada ning katseisik pidi kindlaks tegema, kas otsitav objekt kuvati või mitte. Kindla objekti otsingukatsetes kasutati distraktoritena homogeenseid objekte. Vaadeldavate objektide arv varieerus ühest neljani. Teise eksperimendi esimeses katses näidati katseisikule kõigepealt otsitavat objekti. Kui katseisik oli valmis, hakkas katse pihta ning ekraanile kuvati 180 ms objekte ning katseisik pidi kindlaks tegema, kas eelnevalt näidatud konkreetne objekt kuvati või mitte. Kuvatavaid objekte teise eksperimendi esimeses katses oli üks. Teises katses kuvati juba kaks objekti ning kolmandas katses neli objekti. Katseplaan oli samasugune nagu esimeses eksperimendis, kuid seekord oli kuvatavate objektide arv 1; 2 ja 4. Ka teises eksperimendis oli igal üksikkatsel 50 kordust. Kui kõik katsed olid tehtud, muudeti tingimuste ja objektide esitlusjärjekorda ning tehti sama eksperiment tagurpidi läbi.

Eksperiment 3

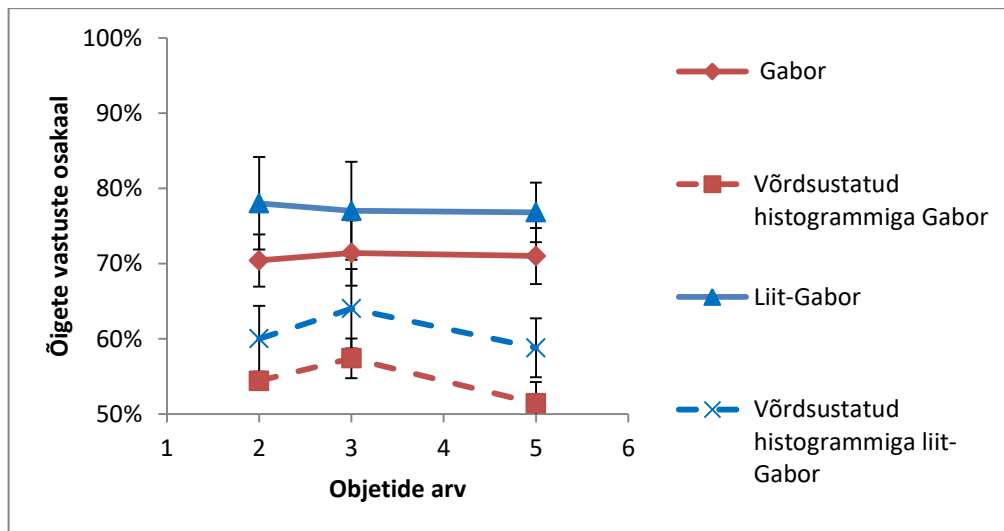
Autor viis läbi ka kolmanda eksperimendi, kus uuriti vastasfaasiga Gaborite eristamist. Esimeses kahes eksperimendis uuriti siinuse ja koosinuse mustrite eristamist. Kolmandas eksperimendis uuriti $+\cos$ ja $-\cos$ ning $+\sin$ ja $-\sin$ faaside eristamist. Koosinus faaside esitamise uurimisel kasutati ka heleduse histogrammiga võrdsustatud Gaboreid. Paraku tuldi kolmanda eksperimendi peale katse käigus ning kolmandas eksperimendis osales 3 katseisikut. Eksperiment sarnanes teisele eksperimendile, kuna ka selles eksperimendis pidi katseisik otsima konkreetset objekti. Konkreetne otsitav objekt näidati katseisikule enne katse algust. Katses kasutati ainult liht-Gaboreid. Katseisiku ülesandeks oli otsida $+\sin$ faasiga stiimulit, distraktorid olid $-\sin$ faasiga. Teises katses pidi katseisik otsima $+\cos$ faasis stiimulit, distraktorid olid $-\cos$ faasis. Kolmandas katses pidi katseisik otsima $+\cos$ faasis objekti, distraktorid olid histogrammiga võrdsustatud $-\cos$ faasis stiimulid.

Tulemused

Eksperimendist saadud andmete töötlemiseks kasutas autor IBM SPSS programmi ning analüüsimiseks programmi *Microsoft Excel*.

Eksperiment 1

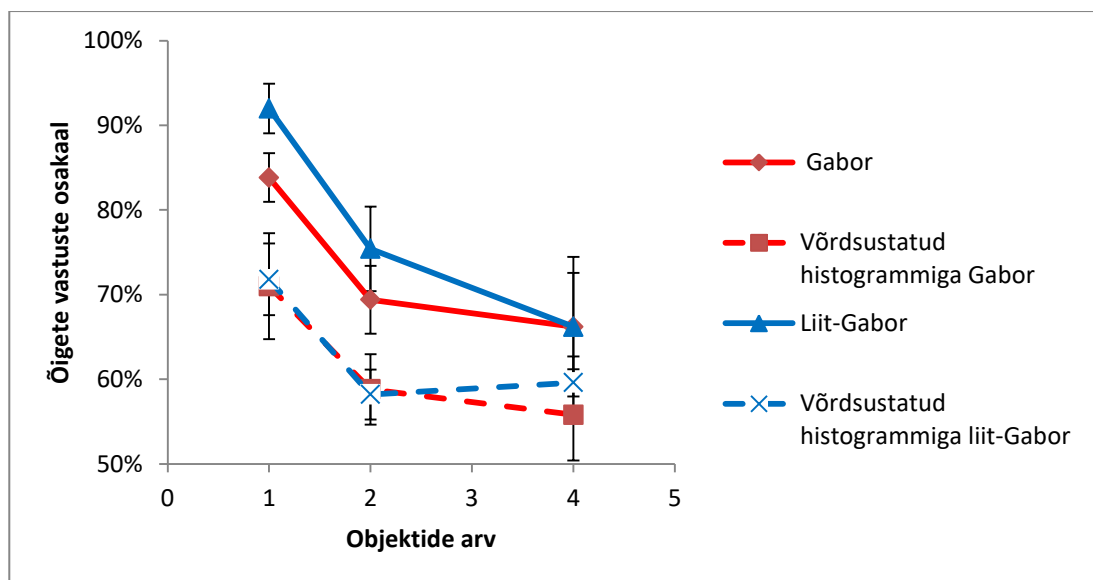
Esimene eksperiment seisnes teistest erineva objekti otsimises. Analüüsist selgub, et originaal Gaborid on paremini eristatavad kui histogrammiga võrdsustatud Gaborid. Inimese nägemisväljal kõige paremini eristatav on liit-Gaborid, mille õigete vastuste osakaal on ~80%. Histogrammiga võrdsustades Gaborite eristavus väheneb, võrdsustatud histogrammiga Gaborite keskmine õigete vastuste osakaal on 57,5%. Nägemisväljal olevate objektide arv ei mõjuta originaal-Gaborite õigete vastuste protsenti. See toetab Schoonveld *et al.* (2007) uuringut, kus leiti, et kui ülesande eesmärk on eristada objekti distraktoritest, siis inimese võime objekti eristada jääb samaks või isegi paraneb stiimulite arvu suurenedes. Jooniselt 4 selgub, et õigete vastuste osakaal on jäänud samaks, mis tähendab, et see ei sõltu objektide arvust. Võrdsustatud histogrammiga Gaborite puhul on liit-Gaborid paremini eristatavad kui liht-Gaborid. Samuti on toodud välja keskmised standardvead. Liit-Gaborite puhul on vead suuremad kui liht-Gaborite puhul.



Joonis 4. Erineva objekti otsimise õigete vastuste osakaalu sõltuvus objektide arvust ja stiimuli tüübist (5 katseisiku keskmised andmed). Sinise joonega on tähistatud liit-Gaborid ja punase joonega liht Gaborid. Võrdsustatud histogrammiga modifitseeritud Gaborid on esitatud punktiirjoonega ning stabiilse joonega on märgitud originaal Gaborid. Joonisel on välja toodud ka keskmine standardviga.

Eksperiment 2

Teine eksperiment seisnes konkreetse objekti otsimises. Tulemustest (joonis 5) selgub, et kuvatavate objektide arv mõjutab õigete vastuste protsenti. Mida vähem objekte, seda suurem on õigete vastuste osakaal. Samuti selgub ka eksperimendist 2, et liit-Gaborid on paremini eristatavad kui liht-Gaborid ning originaal-Gaborid on tunduvalt paremini eristatavad kui võrdsustatud histogrammiga modifitseeritud Gaborid. Vaadeldavate objektide arvu suurenemisega suureneb ka tõenäosus, et üks distraktoritest näeb otsitava objekti moodi välja, mis omakorda suurendab ka juhusliku vastuse andmise tõenäosust (Schoonveld *et al.*, 2007). Seetõttu distraktorite arv peab vähendama õigete vastuste protsenti konkreetse objekti otsimisel.



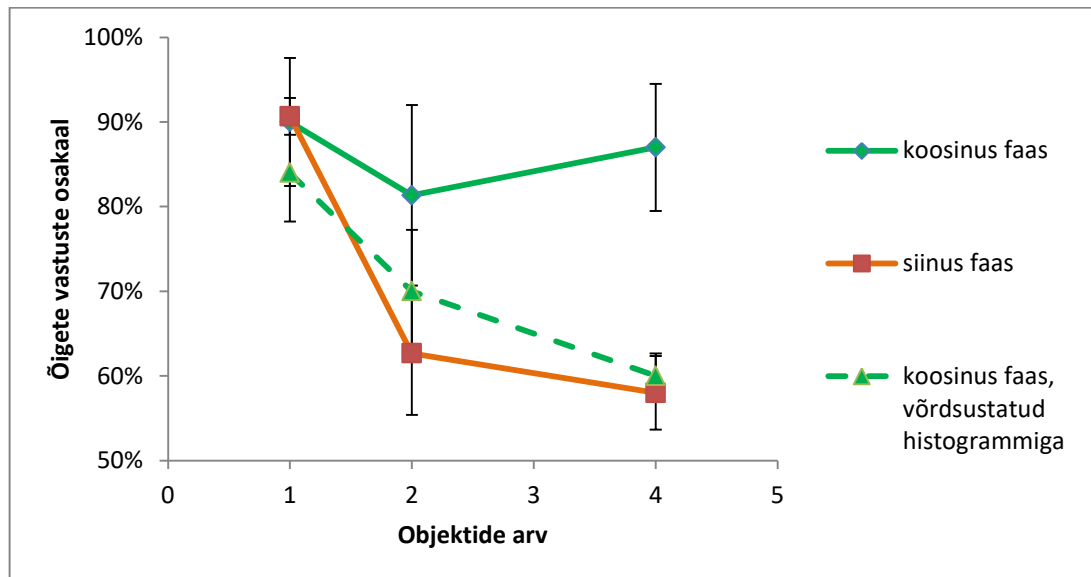
Joonis 5. Konkreetse objekti otsimise õigete vastuste osakaalu sõltuvus objektide arvust ja stiimuli tüübist. Sinise joonega on tähistatud liit-Gaborid ja punase joonega liht Gaborid. Võrdsustatud histogrammiga modifitseeritud Gaborid on esitatud punktiirjoonega ning stabiilse joonega on märgitud originaal Gaborid.

Eksperiment 3

Kolmandas eksperimendi plaan tuli hiljem ning selles sai osaleda ainult 3 katseisikut. Selles eksperimendis uuriti vastasfaasiga Gaborite eristamist, täpsemalt $+\cos$ ja $-\cos$ ning $+\sin$ ja $-\sin$ faaside eristamist. Ka kolmandas eksperimendis pidi katseisik otsima konkreetset, eelnevalt näidatud objekti. Stiimuli tüüpe oli 3, esimeses katses pidi katseisik otsima $+\sin$ faasi objekti, distraktoriteks olid $-\sin$ faasis stiimulid. Teises katses pidi katseisik otsima

+cos faasis stiimulit, distraktorid olid –cos faasis. Kolmandas katses pidi katseisik otsima +cos faasis objekti, distraktorid olid histogrammiga võrdsustatud –cos faasis stiimulid.

Analüüsist selgus (joonis 6), et koosinus faasis Gaborite eristamine muutub kehvemaks, kui need on histogrammiga võrdsustatud. Koosinus faasis olevate Gaborite eristamine on tunduvalt parem kui siinus faasis olevae Gaborite puhul. Siinus faasis olevad Gaborid on silmale raskemini tuvastatavad ning nõuavad katseisikult tähelepanu, seepärast on mitme objekti esitamisel objektide eristamine ka raskendatud ning õigete vastuste osakaal madalam. Samuti on näha, et mida rohkem on objekte, seda raskemini eristatavad nad on, kuna tähelepanu tuleb suunata mitmele objektile. Võib arvata, et kui esitletud on ainult üks objekt, siis on tähelepanu alati suunatud sellele objektile, seepärast on ka kõige suurem õigete vastuste osakaal just ühe objektiga.



Joonis 6. Vastasfaasiga Gaborite eristamise õigete vastuste osakaalu sõltuvus objektide arvust ja stiimuli tüübist. Rohelisega on märgistatud koosinus faasis näidatavad Gaborid ning oranžiga on siinus faasis esitatud Gaborid. Võrdsustatud histogrammiga modifitseeritud Gaborid on esitatud punktiirjoonega.

Samuti selgub jooniselt 6, et $\pm\cos$ faasis Gaborite eristamine ei sõltu väga stiimuli arvust, kuid $\pm\sin$ faasi puhul sõltub tulemus väga objektide arvust. Lisaks selgub, et kui koosinuse faasis stiimuleid modifitseeritakse histogrammiga, langeb stiimulite eristusvõime siinusfaasiga sarnaselt.

Arutelu ja järeldused

Töös püstitatud hüpoteesid leidsid kinnituse. Igast eksperimendist selgus, et histogrammiga võrdsustamine vähendab objektide eristamisvõimet. Lisaks selgus, et liit-Gaborite eristamine on parem kui originaal liit-Gaborite eristamine. Sama kehtib ka histogrammiga võrdsustatud Gaborite kohta. Samuti sai kinnitust hüpotees, et objektide arv ei mõjuta teistest erineva stiimuli otsimist, kuid mõjutab konkreetse objekti otsimist.

Eksperimendist 1 selgus, et teistest erineva mustri otsimine on sarnane üksikute Gaborite ja tekstuuride puhul (Pöder, 2016). Eksperimendist 2 selgus, et konkreetse objekti otsimise puhul on oluline mõju objektide arvul. Mida rohkem on objekte, seda raskem on konkreetset objekti lühiajalise näitamise korral leida. Ka Schoonveld *et al.* (2007) leidsid, et ülesande sisu mängib olulist rolli ning erineva ja sarnase objekti otsimise vahel on erinevused.

Esitusaeg (180 ms) oli valitud erinevuste otsimise katset silmas pidades, kus esitati vähemalt 2 objekti ning katseisikul polnud motiivi silmi liigutada. Eksperimentides 2 ja 3 näidati ka ühte objekti ning sel juhul on võimalik, et katseisikud jõudsid pöörata pilgu esitatud objektile. Seetõttu ei ole tähelepanu ja silmaliigutuste roll nendes katsetes päris selge. Küll aga on tähelepanuga seotud mitme objekti eristamine. Eksperimendi 2 ja 3 tulemustest selgus, et mida rohkem kuvatakse objekte, seda raskem on neid objekte üksteisest eristada ning konkreetset objekti leida. Kuna stiimulite esitlusaeg oli väga lühike, siis ei suutnud selle ajaga katseisik kõikidele objektidele keskenduda ning tänu sellele sai uurida tähelepanu mõju otsinguülesandes.

Esimeses kahes eksperimendis uuriti siinuse (servade eristamine) ja koosinuse (triibu eristamine) mustrite eristamist. Foureir' teisendusest tulenevalt on nende lainekete eristamine lihtne, kuid tunduvalt keerulisem ruumilises faasis. On leitud, et siinuse ja koosinuse faaside eristamisel on ruumilises faasis teatud detektorid, mis suudavad siinuse ja koosinuse faasi üksteisest eristada (Field & Nachmias, 1984). Seetõttu kolmandas eksperimendis uuriti, kuidas vastasfaasidel vahet tehakse. Otsitavad objektid olid kõik + faasis (+sin; +cos) ning distraktoriteks vastasfaasid (-sin ja -cos). Tulemuste põhjal selgus, et cos faas põhineb heledusjaotusel, samal ajal kui sin faas nõuab ka positsioonandmete kasutamist, et tuvastada heledate ja tumedate piirkondade suhtelised asukohad.

Ruumilise faasi eristamine

Kokkuvõtlikult aitab käesolev töö paremini mõista heleduse ja asukoha analüüsi nägemissüsteemis. Tulemused näitasid, et faasi eristamist vahendavad kaks mehhanismi. Üks neist kasutab erinevusi heleduse jaotuses (\cos) ja teine, mis võrdleb mustrite tumedate ja heledate osade asukohti (\sin). Samuti toetab uuring varasemaid seisukohti (Huang *et al.* 2006), et puudub selge mehhanism nägemise ruumilise faasi kodeerimiseks, kuid tulemusi saab seletada \sin ja \cos faaside eristamisega.

Kirjanduse loetelu

- Ali, H. K., Whitehead, A., D (2015) Subset Selection for Landmark Modern and Historic Image Processing (SIGL 2015). Saadaval lehel https://www.researchgate.net/publication/273929690_Subset_Selection_for_Landmark_Modern_and_Historic_Images
- Bennett, P.J., Banks, M. S (1987). Sensitivity loss in odd-symmetric mechanisms and phase anomalies in peripheral vision. *Nature*. 326: 873-876
- Burr, D. C. (1980) Sensitivity to spatial phase. *Vision Research*, 20, 391-396.
- Burr, D. C., Morrone, M. C., & Spinelli, D. (1989). Evidence for edge and bar detectors in human vision. *Vision Research*, 29, 419-431.
- Campbell, F. W., & Robson, J. G. (1968). Application of fourier analysis to the visibility of gratings. *The Journal of Physiology*, 197, 551-566
- Field, D. J., & Nachmias, J. (1984). Phase reversal discrimination. *Vision Research*, 24, 333-340
- Gonzalez, R., C., & Woods, R. E. (2008). *Digital Image Processing* (3rd ed.). Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
- Hansen, B.C, Hess, R.F, (2006) The role of spatial phase in texture segmentation and contour integration. *Journal of Vision* 6, 594-615
- Huang, P.C, Kingdom, F.A.A, Hess, R.F (2005) Only two phase mechanisms, \pm cosine, in human vision. *Vision Research*, 46, 2069-2081
- Jian, M., Lei, L., Guo, F. (2009) Texture image classification using perceptual texture features and gabor wavelet features. *Journal of Computers*, 4, 763-770
- Nachmias, J., Weber, A. (1975) Discrimination of simple and complex gratings. *Vision Research*. 15, 211-223.
- Pöder, E. (2016). Spatial phase discrimination in visual textures. *Perception*, 45 (S2), 348–348.

Schoonveld, W., Shimozaki, S. S., & Eckstein, M. P. (2007). Optimal model of single-fixation oddity search predicts a shallow set-size function. *Journal of Vision*, 7(10):1, 1-16

Wolfe, J.M., Kluender, K. R, Levi, D. M., Bartoshuk, L. M., Herz, R. S., Klatzky, R., Lederman, S. J, Merfeld, D. M (2015). Spatial Vision: From Spots to Stripes. Sinauer Associates (toim), *Sensation & Perception* (lk numbroid pole). Saadaval lehel <https://wolfe4e.sinauer.com/index.html>

Ruumilise faasi eristamine

Käesolevaga kinnitan, et olen korrektselt viidanud kõigile oma töös kasutatud teiste autorite poolt loodud kirjalikele töödele, lausetele, mõtetele, ideedele või andmetele.

Olen nõus oma töö avaldamisega Tartu Ülikooli digitaalarhiivis DSpace.

Liina Kokk